【特集】

脱炭素化に向けた二酸化炭素の回収・利用・貯留（CCUS）技術の活用と会計問題

川 島　和 浩

要旨

地球温暖化を抑制するためには，二酸化炭素（CO_2）をはじめ大気中に放出される温室効果ガスの排出量を削減することが重要な課題であり，現在，世界的規模で二酸化炭素の回収・利用・貯留（ＣＣＵＳ）技術に期待が寄せられている。わが国では，苫小牧ＣＣＳ実証試験の成果を踏まえ，その後，2021 年 10 月に閣議決定された「第 6 次エネルギー基本計画」において，回収されたCO_2を資源として利用するＣＣＵ／カーボンリサイクルが注目され，CO_2を貯留または利活用するＣＣＵＳ技術に関心が高まった。ＣＣＳの事業化においては，民間企業ベースでも取り組みが加速しており，電源開発株式会社ではCO_2排出削減量の目標数値を中期経営計画において情報開示している。

1　はじめに

地球温暖化を抑制するためには，二酸化炭素（CO_2）をはじめ大気中に放出される温室効果ガス（greenhouse gas：ＧＨＧ）の排出量を削減することが重要な課題であり，現在，世界的規模で二酸化炭素の回収・利用・貯留（carbon dioxide capture, utilization and storage：ＣＣＵＳ）技術に期待が寄せられている。ＣＣＳ（carbon dioxide capture and storage；二酸化炭素の回収・貯留）は，CO_2が大気放散される前に回収して地下に貯留する技術である。わが国では世界に先駆けて一気通貫したＣＣＳ大規模実証実験地が，2012 年 2 月に，経済産業省によって北海道苫小牧沖に決定された。苫小牧ＣＣＳ実証試験では，ＣＣＳ技術の実用化に向けて，2016 年度から年間 10 万トンのCO_2を海底下 1,000mの地層に貯留し，2019 年 11 月には目標とした累計 30 万トンの貯留が達成した。

キーワード：2050年カーボンニュートラル（carbon neutrality by 2050），第6次エネルギー基本計画（6th srategic energy plan），苫小牧ＣＣＳ実証試験（Tomakomai CCS demonstration project），ＣＣＳ長期ロードマップ（CCS long-term roadmap），カーボンリサイクル（carbon recycling）

わが国では，菅義偉内閣総理大臣（当時）が，2020 年 10 月に，国会での所信表明演説で，わが国が 2050 年までにＧＨＧの排出を全体としてゼロにする「2050 年カーボンニュートラル」を宣言した。また，2021 年 4 月のアメリカ主催による気候サミットにおいて，2030 年度の新たなＧＨＧの削減目標として，2013 年度から 46％削減することを目指し，さらに 50％の高みに向けて挑戦を続けるという新たな方針を表明した。

このような状況のもとで，経済産業省では，菅政権が掲げる「2050 年カーボンニュートラル」への挑戦を，「経済と環境の好循環」につなげるための産業政策と位置づけ，「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を 2020 年 12 月に策定した。グリーン成長戦略では，今後，産業として成長が期待され，かつ，ＧＨＧの排出を削減する観点からも取組みが不可欠と考えられる分野として，14 の重要分野が設定された。そのうえで，カーボンニュートラルの実現に向けて，持続可能な脱炭素化・エネルギー転換のためのさまざまな取組み支援として，特に多排出産業による移行（transition；トランジション）の取組みに対しては，官民連携による資金供給（transition finance；トランジション・ファイナンス）の拡大を図っている。

その後，「2050 年カーボンニュートラル」の実現に向けて，2021 年 10 月に閣議決定された「第 6 次エネルギー基本計画」では，回収されたCO_2を資源として利用するＣＣＵ／カーボンリサイクルが注目され，CO_2を貯留または利用するＣＣＵＳ技術に関心が高まった。経済産業省では，2022 年 1 月に，ＣＣＳの事業化に向けて，技術的確立・コスト低減，適地開発，環境整備などの課題を整理することを目的として，「ＣＣＳ長期ロードマップ検討会」を設置し，同年 5 月に「ＣＣＳ長期ロードマップ検討会中間とりまとめ」を公表している。

ＣＣＳ技術の実用化にはコスト低減の問題があるものの，CO_2をコストから資源に転換させるＣＣＵＳ技術の研究開発が，ＥＮＥＯＳホールディングス株式会社など民間企業ベースで進展するなかで，電源開発株式会社はCO_2排出削減量の目標数値を中期経営計画において情報開示している。持続可能な脱炭素化・エネルギー転換のための取組みを推進するなかで，環境会計情報の開示のあり方が注目されている。

2　先行研究

川島（2011）は，わが国におけるＣＣＳ技術に係る研究活動の進展について，2006 年 10 月に経済産業省に設置された「二酸化炭素回収・貯留（ＣＣＳ）研究会」に注目している。このＣＣＳ研究会では，ＣＣＳを，大規模なCO_2発生源から排出されるガス中のCO_2を，分離・回収し，それを地中もしくは海洋の深くに貯留・隔離することにより，大気中にCO_2が放出されるのを抑制する技術であると定義している。そのうえで，ＣＣＳは，基本的に省エネルギーや再生可能エネルギーとは異なるタイプの技術であり，単独では経済的なインセンティブが働かない温暖

化対策に特化した方策であり，ＣＣＳの実用化にあたっては解決すべき課題が多いこともＣＣＳ研究会の中間報告によって明らかにされている。

また，川島（2011）は，ＧＨＧの排出量を削減し，地球温暖化を緩和する一つの技術であるＣＣＳ技術が世界的に注目された契機として，2008 年 7 月に北海道洞爺湖地域において開催された第 34 回主要国首脳会議（Ｇ８サミット）におけるサミット首脳宣言に注目している。サミット議長国の福田康夫内閣総理大臣（当時）は，「2050 年までに世界全体の温室効果ガス排出量を少なくとも 50％削減する」という目標をサミット首脳宣言として公表した。そのうえで，サミット首脳宣言では，国際エネルギー機関（ＩＥＡ）の支援のもとで，ＣＣＳおよび先進的なエネルギー技術を含む，革新的技術のためのロードマップを策定する国際的なイニシアティブを立ち上げること，2020 年までにＣＣＳの広範な展開を始めるために，各国のさまざまな諸事情を考慮しつつ，2010 年までに世界中で 20 の大規模なＣＣＳ実証プロジェクトが開始されることを強く支持することも表明されている。

わが国では，この表明に呼応して，2008 年 7 月に「低炭素社会づくり行動計画」が閣議決定され，特に，ＣＣＳは，わが国の排出量の約３割を占める火力発電や約１割を占める製鉄プロセスの大幅削減につながり得る技術であるものの，その分離・回収コストを 2015 年頃にトン当たり 2,000 円台，2020 年代に 1,000 円台に低減することを目指して技術開発を進め，2009 年度以降の早期に大規模実証に着手し，2020 年までの実用化を目指すこととなった。

わが国では，このような政府のＣＣＳ推進活動に呼応するように，電力，都市ガス，石油，プラント設計・建設，商社等の会社を株主とする日本ＣＣＳ調査株式会社（以下「日本ＣＣＳ調査」という）が 2008 年５月に設立され，経済産業省の委託事業を通じて，わが国におけるＣＣＳ大規模実証試験の実現に向けて，候補地の選定をはじめとする本格的な調査事業が開始された。

北海道苫小牧市においても，日本ＣＣＳ調査による調査事業に呼応するように，ＣＣＳ大規模実証試験に伴う施設建設や雇用などの経済効果や地球環境問題に先導的に取り組む地域のイメージアップを図る観点から，2010 年４月に，「苫小牧ＣＣＳ推進協議会（会長：岩倉博文市長）」が設立された。苫小牧ＣＣＳ推進協議会では，地元の受入れ体制を整備しながら，ＣＣＳ大規模実証試験の候補地に選定されるように，地域一体となった誘致活動が積極的に展開された。

川島（2012）は，経済産業省が，2012 年２月に，わが国で初めてとなるＣＣＳ技術の統合的な実証試験を北海道苫小牧沖で実施する決定に至った背景を明らかにしている。

３　わが国における温室効果ガス排出量の推移

わが国では，菅内閣総理大臣（当時）によって，2020 年 10 月に「2050 年カーボンニュートラル」が宣言され，翌年の 2021 年４月には，2030 年度の新たなＧＨＧの削減目標として，2013

年度から 46％削減することを目指し，さらには 50％の高みに向けて挑戦を続けるという新たな方針が表明されている。

気候変動に関する国際連合枠組条約（以下「条約」という）第 4 条及び第 12 条並びに関連する締約国会議の決定に基づき，わが国を含む附属書Ⅰ国（いわゆる先進国）においては，ＧＨＧの排出・吸収量等の目録を作成し，条約事務局に提出する義務を負っている。また，条約の国内措置を定めた地球温暖化対策の推進に関する法律第 7 条において，政府は，毎年，わが国におけるＧＨＧの排出量および吸収量を算定し，公表している。

3.1　2020 年度の温室効果ガス排出量等

環境省（2022）が，2022 年 4 月に公表した「2020 年度（令和 2 年度）の温室効果ガス排出量（確報値）について」によると，わが国における 2020 年度のＧＨＧの総排出量は 11 億 5,000 万トン（CO_2換算，以下同じ）であり，前年度の総排出量である 12 億 1,200 万トンと 2020 年度の総排出量を比較すると，新型コロナウイルス感染症の感染拡大に起因する製造業の生産量の減少，旅客および貨物輸送量の減少等に伴うエネルギー消費量の減少等から，5.1％（6,200 万トン）減少した。また，2013 年度の総排出量（14 億 900 万トン）と比較すると，エネルギー消費量の減少（省エネの進展，新型コロナウイルス感染症の感染拡大の影響等）および電力の低炭素化（再エネ拡大および原発再稼働）に伴う電力由来のCO_2排出量の減少等から，18.4％（2 億 5,900 万トン）減少した。

他方，2020 年度の森林等の吸収源対策による吸収量は，4,450 万トン（森林吸収源対策により 4,050 万トン，農地土壌炭素吸収源対策により 270 万トン，都市緑化等の推進により 130 万トン）であった。

以上のことから，2020 年度の「総排出量」から「森林等の吸収源対策による吸収量」を差し引くと，11 億 600 万トン（前年度から 6,000 万トン減少）であり，2013 年度の総排出量比 21.5％（3 億 360 万トン）減少した。

環境省（2022）によると，わが国で排出されるＧＨＧの約 9 割がCO_2であること，2020 年度のCO_2排出量が 10 億 4,400 万トンであり，前年度比 6,390 万トン（5.8％）減少し，2013 年度比 2 億 7,370 万トン（20.8％）減少したことを明らかにしている。

2020 年度のCO_2の部門別排出量（電気・熱配分後）をみると，エネルギー起源に分類される産業部門（工場等）が 3 億 5,600 万トン（34.0％），運輸部門（自動車等）が 1 億 8,500 万トン（17.7％），業務その他部門（商業・サービス・事業所等）が 1 億 8,200 万トン（17.4％），家庭部門が 1 億 6,600 万トン（15.9％），エネルギー転換部門が 7,840 万トン（7.5％）であり，産業部門と運輸部門の合計で全体の 5 割を超えている。排出主体別にみると，企業・公共部門関連が 78.3％であり，家計関連が 21.7％である。

3.2　わが国における地球温暖化対策税の状況

環境省ＨＰによると，わが国では，低炭素社会の実現に向け，再生可能エネルギーの導入や省エネ対策をはじめとする地球温暖化対策（エネルギー起源CO_2排出抑制対策）を強化するため，2012 年 10 月 1 日から「地球温暖化対策のための税」（地球温暖化対策税）が導入され，段階的に施行されて，2016 年 4 月 1 日に最終税率への引上げが完了している。地球温暖化対策税（以下「本税制」という）は，石油，天然ガス，石炭といったすべての化石燃料の利用に対し，環境負荷（CO_2排出量）に応じて広く薄く公平に負担を求める点に特徴がある。

また，本税制は，2012 年度税制改正において創設されたものであり，課税による経済的インセンティブを活用して，化石燃料に由来するCO_2の排出抑制を進めると同時に，その税収を活用して再生可能エネルギーや省エネ対策を始めとする地球温暖化対策を強化する点にも特徴がある。

本税制では，具体的には，化石燃料ごとのCO_2排出原単位を用いて，それぞれの税負担がCO_2排出量 1 トン当たり 289 円に等しくなるよう，単位量（キロリットルまたはトン）当たりの税率を設定している。また，導入定着に際して，急激な負担増を避ける目的で，税率は 3 年半かけて 3 段階に分けて引き上げられた。

実際上，本税制では，全化石燃料を課税ベースとする現行の石油石炭税の徴税スキームを活用し，石油石炭税に上記の税率を上乗せする形で課税している。例えば，「原油・石油製品」の場合には，1 キロリットル当たり 2,040 円をベースに，最終的に 760 円を上乗せして 2,800 円としている。「ガス状炭化水素（石油ガス（ＬＰＧ）および天然ガス（ＬＮＧ））」の場合には，1 トン当たり 1,080 円をベースに，最終的に 780 円を上乗せして 1,860 円としている。「石炭」の場合には，1 トン当たり 700 円をベースに，最終的に 670 円を上乗せして 1,370 円としている。この結果，本税制の導入による家計負担からは，平均的な世帯で月額 100 円程度，年額 1,200 円程度の税収が見込まれた。

本税制による税収では，初年度の 2012 年度では 391 億円，そして 2016 年度では 2,623 億円が見込まれた。政府は，この税収を活用して，省エネルギー対策，再生可能エネルギー普及，化石燃料のクリーン化・効率化などのエネルギー起源CO_2排出抑制に係る諸施策を実施していくこととなった。

また，本税制によるCO_2削減効果では，①価格効果（課税を通じたCO_2の排出抑制効果）と②財源効果（税収をエネルギー起源CO_2排出抑制のための諸施策に活用することによるCO_2削減効果）が期待された。研究機関の試算では，2020 年において 1990 年比で約▲0.5％～▲2.2％のCO_2削減効果があり，排出量では約 600 万トン～約 2,400 万トンのCO_2削減が見込まれた。

4　第６次エネルギー基本計画におけるＣＣＳとＣＣＵの位置づけ

カーボンニュートラルの実現に向けた対応が世界的な潮流になっている。国際的には，2015 年 12 月にフランス・パリで開催された国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（ＣＯＰ21）において，すべての国が参加する公平で実効的な国際枠組みである「パリ協定」が採択され，2020 年より本格的な実施期間に移行している。

わが国においては，2018 年７月に閣議決定された「第５次エネルギー基本計画」を見直し，新たな「第６次エネルギー基本計画」を 2021 年 10 月に閣議決定している。経済産業省（2021）によると，新たなエネルギー基本計画では，2020 年 10 月に菅内閣総理大臣（当時）が国会での所信表明演説において 2050 年までにＧＨＧの排出量を全体としてネットゼロにする「2050 年カーボンニュートラル」の宣言と，2021 年４月にアメリカ主催の気候サミットで表明した，2030 年度のＧＨＧを 2013 年度比で 46％削減する目標を提示し，さらに 50％削減の高みに挑戦するという削減目標の実現に向けたエネルギー政策の道筋を示すことが１つの重要なテーマであった。このテーマでは，世界的な脱炭素化に向けた動きのなかで，国際的なルール形成を主導することや，これまで培ってきた脱炭素技術，新たな脱炭素に資するイノベーションにより国際的な競争力を高めることが重要とされた。

また，わが国のエネルギー需給構想が抱える課題の克服が，もう１つの重要なテーマであった。このテーマでは，気候変動対策を進めるなかで，安全性（safety）の確保を大前提に，エネルギーの安定供給（energy security）を第一とし，経済効率性（economic efficiency）の向上による低コストでのエネルギー供給を実現し，同時に，環境（environment）への適合を図るという，Ｓ＋３Ｅの視点をもった取り組みが重要とされた。

今般の第６次エネルギー基本計画では，現時点での技術を前提として，大胆に 2050 年カーボンニュートラルが達成された社会におけるエネルギー需給構造について，以下のようなシナリオを提示している。すなわち，①徹底した省エネルギーによるエネルギー消費効率の改善に加え，脱炭素電源により電力部門は脱炭素化され，その脱炭素化された電源により，非電力部門において電化可能な分野は電化される。②産業部門においては，水素還元製鉄，CO_2吸水型コンクリート，CO_2回収型セメント，人工光合成などの実用化により脱炭素化が進展する。一方で，高温の熱需要など電化が困難な部門では，水素，合成メタン，バイオマスなどを活用しながら，脱炭素化が進展する。③民生部門では，電化が進展するとともに，再生可能エネルギー熱や水素，合成メタンなどの活用により脱炭素化が進展する。④運輸部門では，ＥＶやＦＣＶの導入拡大とともに，CO_2を活用した合成燃料の活用により，脱炭素化が進展する。⑤各部門においては省エネルギーや脱炭素化が進展するものの，CO_2の排出が避けられない分野も存在し，それらの分野からの排出に対しては，ＤＡＣＣＳ（direct air carbon capture and storage；工学的プロセスにより大気中から直接CO_2を分離・回収するＤＡＣ技術と地中に貯留するＣＣＳ技術を組み合わせ

た技術）やＢＥＣＣＳ（bio-energy with carbon capture and storage；バイオマスを燃焼または発酵させることで排出されるＣO_2を回収・貯留する技術），森林吸収源などによりＣO_2が除去される，というシナリオである。

このような状況のもとで，電力部門に求められる取組みとしては，「水素・アンモニア・ＣＣＳ・ＣＣＵ／カーボンリサイクルにおける対応」が提示されている。2050 年カーボンニュートラルの実現に向けて，火力発電から大気中に排出されるＣO_2排出を実質ゼロにしていくという，火力政策の野心的かつ抜本的な転換が求められている。具体的には，火力発電の脱炭素化に向けては，燃料そのものを水素・アンモニアに転換させることや，排出されるＣO_2を回収・貯留・再利用することで脱炭素化を図ることが求められている。

このなかで，ＣＣＳの活用に向けた対応としては，次のようなシナリオが提示されている。すなわち，ＣＣＳについては，①技術的確立・コスト低減，適地開発や事業化に向けた環境整備を，長期のロードマップを策定し，関係者と共有したうえで進めていくこと。②ＣＣＳの技術的確立・コスト低減に向け，分離回収技術の研究開発・実証を行うとともに，貯留技術や，モニタリングの精緻化・自動化，掘削・貯留・モニタリングのコスト低減等の研究開発を推進すること。③低コストかつ効率的で柔軟性のあるＣＣＳの社会実装に向けて，液化ＣO_2船舶輸送の実証試験に取組むとともに，ＣO_2排出源と再利用・貯留の集積地とのネットワーク最適化（ハブ＆クラスター）のための官民共同でのモデル拠点構築を進めていくこと，というシナリオである。

また，ＣＣＳの社会実装に不可欠な適地の開発については，国内のＣO_2貯留適地の選定のため，経済性や社会的受容性を考慮しつつ，貯留層のポテンシャル評価等の調査を引き続き推進することと，海外のＣＣＳ事業の動向等を踏まえたうえで，国内のＣＣＳの事業化に向けた環境整備等の検討を進めていくこと，というシナリオである。

他方，ＣＣＵ／カーボンリサイクルの実現に向けた対応としては，次のようなシナリオが提示されている。すなわち，①ＣＣＵ（carbon capture and utilization）／カーボンリサイクルは，ＣO_2を資源として捉え，鉱物化や人工光合成等により素材や燃料等へ再利用することで，大気中へのＣO_2排出抑制が可能となること。②ＣO_2の分離・回収設備を設置することで，既存の化石燃料の調達体制や設備を活用しつつＣO_2排出削減に貢献できるという利点も有していること。③ＣＣＵ／カーボンリサイクル技術に係る国際的な開発競争が加速しているなかで，わが国としては，「カーボンリサイクル技術ロードマップ」を踏まえて，競争優位性を確保しつつ，コスト低減や用途開発のための技術開発・社会実装，そして国際展開を推進していくこと，というシナリオである。

5　苫小牧ＣＣＳ実証試験の成果

5.1　苫小牧ＣＣＳ実証試験の取組み

苫小牧ＣＣＳ実証事業を受託している日本ＣＣＳ調査は，地球温暖化対策としてＣＣＳを推進する政府の方針に呼応して，2008 年 5 月に，ＣＣＳ各分野の専門技術を有する大手企業が株主となって設立された民間会社である。日本ＣＣＳ調査は，会社設立後，経済産業省等の委託事業を通じて，わが国におけるＣＣＳ大規模実証試験の実現に向けて，実証試験の候補地の選定を始めとする本格的な調査事業に着手した。

その後，日本ＣＣＳ調査による一連の調査結果にもとづいて，2012 年 2 月に，経済産業省によって北海道苫小牧沖がＣＣＳ大規模実証実験地に決定された。北海道苫小牧沖には，CO_2を圧入する「貯留層（砂岩）」の上部でふた（シール）をする役割を担う非常に厚い「遮蔽層（泥岩）」の地層構造が確認され，CO_2を圧入・貯留するのに非常に適した地層が存在していた。

苫小牧ＣＣＳ実証試験の特徴は，ＣＣＳを構成する３つの要素技術である，①分離・回収，②輸送，③圧入・貯留という個別的な要素技術を一気通貫した統合的なプラント設備にある。プラント設備は 2012 年度から 2015 年度の 4 年間にわたって建設された。その後は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「ＮＥＤＯ」という）からの受託事業を担い，ＣＣＳ技術の実用化に向けて，2016 年度から年間 10 万トンのCO_2を海底下 1,000ｍの地層に圧入・貯留し，2019 年 11 月には目標とした累計 30 万トンの圧入・貯留が達成した。目標達成後は，CO_2の圧入は停止しており，海底下の貯留層に圧入したCO_2の挙動をモニタリング調査している。

日本ＣＣＳ調査においては，①苫小牧におけるＣＣＵＳ大規模実証試験，②CO_2貯留適地調査事業，③CO_2船舶輸送に関する技術開発および実証試験，④CO_2の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業を，それぞれ受託事業として実施している。

5.2　苫小牧ＣＣＳ実証試験の成果

経済産業省・ＮＥＤＯ・日本ＣＣＳ調査（2020）は，北海道苫小牧市におけるＣＣＳ大規模実証試験において，2019 年 11 月にCO_2の累計圧入量が目標値の 30 万トンに到達したことから，2020 年 5 月 15 日に，30 万トン圧入時点での本実証試験において得られた成果と課題を「苫小牧におけるＣＣＳ大規模実証試験 30 万トン圧入時点報告書」（以下「総括報告書」という）として取りまとめて公表している。

この総括報告書では，苫小牧の実証データにもとづき，水素製造，アンモニア製造およびＩＧＣＣ（石炭ガス化複合発電）のＣＣＳに適用できる年間 20 万トン規模（苫小牧ＣＣＳ実証事業の設備規模）の実用化モデルのコストを試算し，さらに年間 100 万トン規模（実用化が想定される規模）にスケールアップした実用化モデルのコストも試算されている。

以下では，総括報告書で明らかにされているＣＣＳコスト試算について概観してみよう。

5.2.1　年間 20 万トンモデルのＣＣＳコスト試算

表 1 は，年間 20 万トンの実用化モデルに係る設備コストと運転コストを示している。

この場合，年間 20 万トン圧入の小規模ＣＣＳのケースでは，1 トン当たりのＣＣＳコストは，1 万 1,129 円（CO_2換算，以下同じ）と試算されている。内訳としては，設備コストが 1,774 円（15.9%）で，運転コストが 9,355 円（84.1%）である。

表 1　年間 20 年トン圧入の小規模ＣＣＳモデルの事例

（消費税抜き）

設備構成	設備コスト		運転コスト		合計	
コスト分類	円/t	%	円/t	%	円/t	%
分離・回収	335	3.0	1,860	16.7	2,195	19.7
CO_2 圧縮	385	3.4	2,174	19.5	2,559	22.9
共通設備	132	1.2	686	6.2	818	7.4
圧入井・貯留	922	8.3	4,635	41.7	5,557	50.0
合計	1,774	15.9	9,355	84.1	11,129	100.0

出所：経済産業省・NEDO・日本 CCS 調査（2020）『苫小牧における CCS 大規模実証試験 30 万トン圧入時点報告書』43 頁。

なお，ここで示しているＣＣＳコストは，キャプチャーコスト（cost of CO_2 captured）であり，ＣＣＳコストを圧入したCO_2量（単位はトン）で除した値を示している。これに対して，アボイデットコスト（cost of CO_2 avoided）はＣＣＳにより発生するCO_2を取り除く正味のコストであるため，計算式の分母のCO_2排出量が少なく算出されるため，コストがCO_2排出係数に応じて高く算定される。この事例では，CO_2排出係数が 0.165 であることから，アボイデットコストは，1 万 3,328 円[11,129÷(1-0.165)]と算定される。

さて，表 1 を詳細にみると，1 トン当たりの分離・回収コストが 2,195 円，CO_2圧縮が 2,559 円，共通設備が 818 円，圧入井・貯留が 5,557 円と試算されている。

このうち，運転コストのなかでは，低圧スチームボイラー用の燃料コスト（燃料コストはスチーム供給熱量をボイラー効率 90%で除した値）が 1,664 円，電力コストが 2,008 円であり，この２つのコストの占める割合が全体の 33%と大きい。総括報告書では，この理由が燃料ガスと電力の単価にあるとしている。そのうえで，苫小牧ＣＣＳ実証事業においては，実用化モデルに

おいて，燃料ガスと電力を外部から購入したことに起因しており，ＣＣＳ設備が水素製造・アンモニア製造・石炭ガス化発電等に隣接する場合は同一工場で燃料ガスや電力を融通することでそれらの単価が大幅に低減できる点を指摘している。

また，CO_2圧縮の運転コストが 2,174 円であり，ＣＣＳコストの 19.5%を占めていることと，この大部分がCO_2圧縮機の電力コストによるものであるとし，コスト低減には圧縮機効率の向上が重要である点を指摘している。さらに，分離・回収の運転コストが 1,860 円であり，ＣＣＳコストの 16.7%を占めていることと，そのうちのアミンリボイラー熱のコストが 1,171 円で全体の 10.5%であり，二段吸収法の採用による熱エネルギー低減効果が発揮されていることを指摘している。

なお，海洋環境調査では 1,540 円（3 億 800 万円/20 万トン）であり，ＣＣＳコストの 13.8%を占めており，その削減が重要である一方で，実用化に向けては，必要な調査回数のみ実施することによって，一定程度の削減が可能なコストであることも指摘している。

5.2.2　年間 100 万トンモデルのＣＣＳコスト試算

総括報告書ではまた，年間 100 万トンの大規模ＣＣＳモデルにおけるコストを試算している。年間 100 万トン規模のＣＣＳでは，スケール効果による設備コストの低減が期待されている。また，100 万トン規模の場合，電力消費量の削減，CO_2排出係数の低下，アボイデットコストの低減等にはCO_2圧縮機の動力の低減が重要であることを指摘している。

年間 100 万トン圧入の大規模ＣＣＳのケースでは，キャプチャーコストは，6,186 円と試算されている。また，アボイデットコストのCO_2排出係数が 0.148 であることから，アボイデットコストは，7,261 円[6,186÷(1-0.148)]と算定される。

キャプチャーコストの 6,186 円における内訳としては，分離・回収と圧入においては，設備コストが 590 円（年間 20 万トンの設備コストの 0.693 倍）で，運転コストが 4,079 円である。また，圧入井・貯留においては，設備コストが 369 円で，運転コストが 1,148 円である。

年間 100 万トンの大規模ＣＣＳモデルにおいては，CO_2圧縮機は大型モデルによる効率向上により，約 22%の動力を削減できると推測した結果，圧縮コストが 377 円減少し，圧縮機冷却水コストが 23 円減少すると試算されている。また，年間保全コストも 241 円減少することから，分離・回収・圧入に係る運転コストは合計 641 円の減少で 4,079 円と算定されている。

以上のことから，年間 100 万トンの実用化モデルにおいては，スケール効果による設備コストの低減が期待されることと，電力単価の低下やCO_2回収率を現行の 99.9%から 95%程度に減少させた場合には，ＣＣＳコストの削減が可能となる。

6　ＣＣＳ長期ロードマップ検討会の議論

6.1　ＣＣＳ長期ロードマップ検討会

わが国における国内唯一のＣＣＳ大規模実証事業は，2012 年 2 月に経済産業省が北海道苫小牧沖を候補地に決定してからすでに 10 年超が経過している。特に，苫小牧ＣＣＳ実証試験においては，2016 年度から毎年 10 万トンのCO_2の圧入・貯留が開始され，途中で実証試験が一時中断されたものの，2019 年 11 月に目標値である累計 30 万トンのCO_2の圧入を達成し，現在はCO_2の貯留層での挙動をモニタリングしている。現在では，日本ＣＣＳ調査において，ＣＣＳからＣＣＵＳに継承された大規模実証試験の受託事業が実施されている。また，新しいプロジェクトとして，液化CO_2船舶輸送に関する技術開発および実証試験が展開されている。このように，わが国においては，日本ＣＣＳ調査を始めとしてＣＣＳ実用化に向けた技術開発や研究成果の蓄積が図られている。

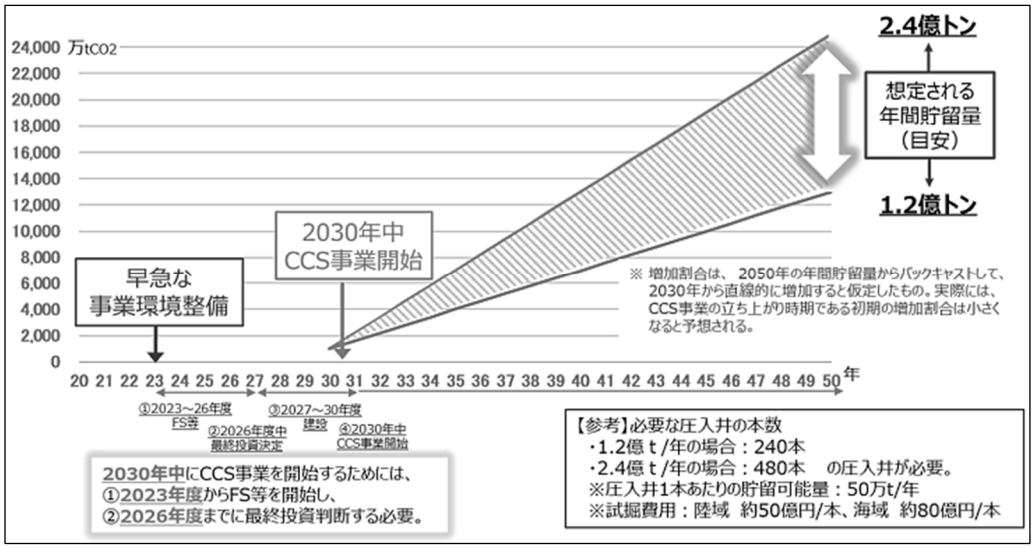
2021 年 10 月に閣議決定された「第 6 次エネルギー基本計画」では，2050 年カーボンニュートラルに向けたＣＣＳの位置づけとして，火力発電所の脱炭素化のため，ＣＣＵＳの活用が必要不可欠であるほか，電化や水素化等で脱炭素化できず，CO_2の排出が避けられない分野においても，ＣＣＵＳ等を最大限活用する必要性が強調されている。また，2030 年のＣＣＳ事業化に向けて，技術的確立・コスト低減，適地開発や環境整備に係る長期のロードマップを策定することが検討された。

さらに最近では，ＣＣＳ事業化に向けて，国内の民間企業におけるＣＣＳへの取組みが活発化しつつあること，海外においては 1 年間で計画・実施されるＣＣＵＳプロジェクトが増大するなど，ＣＣＳの事業化をめぐる動向に大きな環境変化が生じている。

このような背景から，経済産業省において，2020 年 1 月に「ＣＣＳ長期ロードマップ検討会」が設置された。その後，苫小牧ＣＣＳ実証試験の成果等を踏まえ，産業の脱炭素化を推進するなかで，同年 5 月に「ＣＣＳ長期ロードマップ検討会中間とりまとめ」が公表された。そこでは，2050 年を見据えたＣＣＳ長期ロードマップの検討にあたり，2050 年時点において想定されるＣＣＳの年間貯留量として，「2050 年時点で年間約 1.2 億トン～2.4 億トン」という目安を示すとともに，2030 年のＣＣＳ事業化に向けた国内法整備の必要性が議論されている。

なお，この年間貯留量の目安は，2050 年の年間貯留量からバックキャストして，2030 年から直線的に増加すると仮定したものである点に留意が必要である。図 1 を参照。

図１　2050 年に向けたＣＣＳの年間貯留量目安



出所：経済産業省（2022）「CCS 長期ロードマップ検討会中間とりまとめ」。

6.2　民間企業によるＣＣＳ事業化に向けた取組み

経済産業省が 2022 年５月に公表した「ＣＣＳ長期ロードマップ検討会中間とりまとめ」では，ＣＣＳ事業化をめぐる最近の大きな環境の変化として，国内外において，ＣＣＳ事業化に向けた民間企業の取組みが活発化していることを指摘している。

日本国内の事例として，2022 年５月 10 日に，ＥＮＥＯＳホールディングス株式会社（以下「ＥＮＥＯＳ」という）と電源開発株式会社（以下「電源開発」という）が，国内におけるＣＣＳ事業化に向け，共同で取り組むことを発表するなど，ＣＣＳバリューチェーン全体でＣＣＳ事業化に向けた協業が進展していることが指摘されている。

実際に，電源開発のＨＰを概観すると，「エネルギー供給のカーボンニュートラルに向けた共同取り組みについて」と題するお知らせが，2022 年５月 10 日付で掲載されている。

電源開発のＨＰには，「両社は，化石燃料の利用に伴うCO_2排出量削減を図るべく，国内での大規模なＣＣＳの事業化調査に共同で取り組みます。加えて両社は，カーボンニュートラルに積極的に取り組むさまざまな事業者とも連携し，2030 年に向け国内で初めての本格的なＣＣＳを実装化することで，エネルギーの安定供給を果たしつつ，わが国の温室効果ガス排出削減目標の達成への貢献を目指します。」と掲載されている。

このなかで，電源開発は，2021 年２月に J-POWER“BLUE MISSION 2050”を公表し，これまでのCO_2フリー電源拡大をさらに加速化することに加えて，これを補完する調整力・供給力としてCO_2フリー水素発電を実現し，2050 年に向けて電力供給のカーボンニュートラルの実現を

目指している。そのうえで，ＣＣＳの取組みはCO_2フリー水素発電の実現に不可欠であり，BLUE MISSION 2050 のさらなる具体化を図ることが記載されている。

次いで，電源開発が 2022 年 5 月 11 日に公表した「中期経営計画の取組み状況」を概観してみよう。電源開発は，2050 年までのカーボンニュートラルへの移行（トランジション）に挑むなかで企業価値の向上を目指している。また，電力の安定供給の要請に応えながら，カーボンニュートラルの実現とそれを支える事業基盤の強化に取組んでいる。

また，「J-POWER“BLUE MISSION 2050”の実現に向けて」には，①2030 年の目標達成に向けて，中間地点の 2025 年度までのCO_2排出削減量を新たに設定すること，②2050 年のカーボンニュートラル実現に向けて，CO_2フリー水素発電にチャレンジしていくことがそれぞれ明記されている。

このうち，①の 2030 年に向けての目標設定では，再生可能エネルギー拡大やアップサイクルによるアセット組替えに加えて，バイオマス混焼による火力の低炭素化に取組むこと，さらに，経年化石炭火力の稼働抑制・廃止計画の具体化を図っていき，2025 年度に 700 万トンのCO_2排出量削減を目指すことが，それぞれ示されている。

以上のように，電源開発の情報開示の特徴は，「中期経営計画の取組み状況」において，中間目標として 2025 年度のCO_2削減目標値 700 万トンを掲載した点にある。

6.3　ＣＣＵＳ／カーボンリサイクルの取組み

経済産業省が 2019 年 6 月に公表し，その後，2021 年 7 月に改訂された「カーボンリサイクル技術ロードマップ」によると，ＣＣＵＳ／カーボンリサイクルについて，カーボンリサイクルは，CO_2を資源として捉え，それを分離・回収し，①鉱物化によりコンクリート等，②人工光合成等により化学品，③メタネーション等により燃料への再利用を通じて大気中へのCO_2排出を抑制するものとされている。

現在，カーボンリサイクルは，CO_2の利用（utilization）について，世界の産学官連携のもとで研究開発を進め，非連続的イノベーションを進める取組みが展開されている。したがって，カーボンリサイクルは，省エネルギー，再生可能エネルギー，ＣＣＳなどと同様に，経済社会を発展させる重要な取組みの一つとなっている。

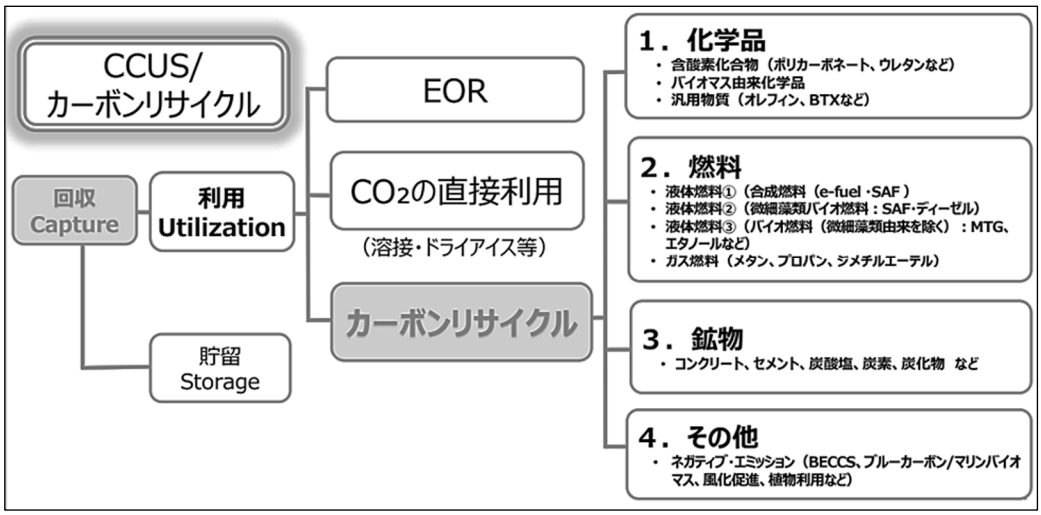
経済産業省が策定した「カーボンリサイクル技術ロードマップ」においては，カーボンリサイクル技術は，CO_2を資源として捉え，少量でも既存製品を置き換えた分だけCO_2が利用できることを示している。このため，費用対効果を踏まえつつ，一つでも多くの分野において技術の確立，普及を目指すことが必要である。ここでは，①2030 年を比較的短期のターゲットに定め，②2040 年以降を中長期のターゲットに定めている。

カーボンリサイクルの拡大に際しては，現時点は「フェーズ 1」の段階であることから，カーボンリサイクルに資する研究・技術開発・実証に着手することが必要である。特に，2030 年ご

ろから普及が期待できる，水素が不要な技術や高付加価値製品を製造する技術に重点が置かれている。この場合，CO_2を資源として生産される，①鉱物・コンクリート（道路ブロック等）では現状の価格から 1/3〜1/5 程度に低コスト化すること，②燃料（バイオジェット燃料）では現状の価格から 1/8〜1/16 程度に低コスト化すること，③化学品（ポリカーボネート）ではCO_2排出量のさらなる削減が，それぞれ必要とされている。

カーボンニュートラルの実現に向けて，さまざまな製品を化石燃料（石油，石炭，天然ガスなど）に頼らずに生産する技術を普及することも重要である。例えば，再生可能エネルギー由来の水素とCO_2を反応させることにより，メタンなどの化学原料を生産することが可能であり，また，ごみ焼却などとCCU／カーボンリサイクルを組み合わせることにより，炭素の循環利用が可能である。再生可能エネルギーの普及を加速させるCCUS技術の活用が期待されている。図2を参照。

図２　ＣＣＵＳ／カーボンリサイクルの流れ



出所：経済産業省（2021b）「カーボンリサイクル技術ロードマップ」令和３年７月改訂を一部修正。

7　おわりに

カーボンニュートラルの実現に向けて，ＣＣＳ技術およびＣＣＵＳ技術の利用は，脱炭素社会を構築するうえで重要な鍵である。苫小牧ＣＣＳ実証試験を通じて得られた技術や知見が国内外でＣＣＳ事業化に向けた取組みに貢献している。苫小牧ＣＣＳ実証試験の成果である「総括報告書」においては，2030 年までのＣＣＳ実用化に向けた課題が提示されている。すなわち，①さらなる低コスト化，②CO_2輸送手段の確立（液化CO_2船による輸送），③ＣＣＳとカーボンリサイクルの組み合わせによる拠点化，④貯留適地の確保，⑤事業環境整備（国内事業法の確立と社

会的受容性の向上）である。

また，ＣＣＳのコスト分析から，ＣＣＳの事業化には，CO_2分離・回収のエネルギーコストの割合が大きいため，将来のCO_2排出源に応じた分離・回収の技術開発を継続し，ＣＣＳ普及に向けてさらなる低コスト化を図る必要がある。

他方，「2050 年カーボンニュートラル」の実現に向けて，CO_2を貯留するＣＣＳ技術と回収されたCO_2を資源として利活用するＣＣＵ／カーボンリサイクルとを組み合わせたＣＣＵＳ技術に注目することが必要である。ＣＣＵＳ技術の活用によってCO_2がコストから資源に転換されることで市場を通じたCO_2の管理統制が可能となり，企業の成長の機会が増大する。経済産業省は，2022 年 5 月に「ＣＣＳ長期ロードマップ検討会中間とりまとめ」を公表し，2050 年時点で想定されるＣＣＳの年間貯留量について 1.2 億トン～2.4 億トンという目安の数値を掲げて，産業の脱炭素化を推進している。ＣＣＳの事業化は，最近では民間企業に広がりを見せており，特に電源開発は 2022 年 5 月に公表した「中期経営計画の取組み状況」において，2025 年度までに 700 万トンのCO_2を削減するという新たな数値目標を設定するなど，ＣＣＵＳを通じた脱炭素化に向けた環境会計情報の開示が進展しつつある。

参考文献

川島和浩（2011）「日本における CCS 大規模実証試験の展開」『苫小牧駒澤大学紀要』第 23 号，1-32 頁，2011 年 3 月。

川島和浩（2012）「苫小牧地点における CCS 実証試験の期待」『苫小牧駒澤大学紀要』第 26 号，37-70 頁，2012 年 12 月。

環境省（2020）「CCUS を活用したカーボンニュートラル社会の実現に向けた取り組み」2020 年 2 月。

環境省・国立環境研究所（2022）「2020 年度（令和 2 年度）の温室効果ガス排出量（確報値）について」2022 年 4 月 15 日。

環境省 HP「地球温暖化対策のための税の導入」。

経済産業省・NEDO・日本 CCS 調査（2020）『苫小牧における CCS 大規模実証試験 30 万トン圧入時点報告書』2020 年 5 月。

経済産業省等（2021a）「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」2021 年 6 月 18 日。

経済産業省（2021b）「カーボンリサイクル技術ロードマップ」令和元年 6 月（令和 3 年 7 月改訂）。

経済産業省（2021c）「（第 6 次）エネルギー基本計画」2021 年 10 月 22 日。

経済産業省（2022）「CCS 長期ロードマップ検討会中間とりまとめ」2022 年 5 月 27 日。

電源開発・ENEOS（2022a）「エネルギー供給のカーボンニュートラルに向けた共同取り組みについて」2022 年 5 月 10 日。

電源開発（2022b）「中期経営計画の取組み状況」2022 年 5 月 11 日。

日本 CCS 調査株式会社 HP。

（付記）本稿は 2022 年度日本社会関連会計学会全国大会の統一論題報告に加筆修正を加えたものである。

川島　和浩（東北工業大学ライフデザイン学部）